

THESIS

WÜRZBURG

1967

Aus der Neurochirurgischen Universitätsklinik Würzburg

Direktor: Professor Dr. med. J. Gerlach

FORM UND GRÖSSE DES VEREISUNGSKÖRPERS BEI KÄLTEANWENDUNG
AM LEBENDEN KANINCHENHIRN UNTER NORMALEN UND PATHOLOGISCHEN
DURCHBLUTUNGSBEDINGUNGEN IN ABHÄNGIGKEIT VON ZEIT UND TEMPERATUR

LIBRARY OF
STANFORD UNIVERSITY
300 PASTEUR ROAD
PALO ALTO, CALIFORNIA

I n a u g u r a l - D i s s e r t a t i o n

verfaßt und der

Hohen Medizinischen Fakultät

der

Julius Maximilians Universität Würzburg

zur

Erlangung der medizinischen Doktorwürde

vorgelegt von

Dieter Segmiller
aus München

Würzburg 1967



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA40153518_0203

Aus der Neurochirurgischen Universitätsklinik Würzburg

Direktor: Professor Dr. med. J. Gerlach

FORM UND GRÖSSE DES VEREISUNGSKÖRPERS BEI KÄLTEANWENDUNG
AM LEBENDEN KANINCHENHIRN UNTER NORMALEN UND PATHOLOGISCHEN
DURCHBLUTUNGSBEDINGUNGEN IN ABHÄNGIGKEIT VON ZEIT UND TEMPERATUR

I n a u g u r a l - D i s s e r t a t i o n

verfaßt und der

Hohen Medizinischen Fakultät

der

Julius Maximilians Universität Würzburg

zur

Erlangung der medizinischen Doktorwürde

vorgelegt von

Dieter Segmiller

aus München

Würzburg 1967

Referent :

Professor Dr. med. J. Gerlach

Tag der Promotion:

2. 2. 68

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der
Universität Würzburg

Meinen Eltern

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
A. EINLEITUNG, VORBEMERKUNGEN UND ARBEITSGANG	1
1. Einleitung und Themastellung	1
2. Anatomische Vorbemerkungen über die Gefäßversorgung am Gehirn	1
3. Material und Methodik	2
a) Material	2
b) Operatives Vorgehen	3
c) Ligaturen	6
d) Abkühlungsmethodik	6
B. VORVERSUCHE UND DEREN ERGEBNISSE	8
C. HAUPTVERSUCHE UND DEREN ERGEBNISSE	11
1. Form des Vereisungskörpers	11
2. Durchmessergröße des Vereisungskörpers bei Normal- und Mangeldurchblutung in Abhängigkeit von Zeit und Temperatur	12
a) Einfluß der Durchblutungsverhältnisse auf die Durchmessergröße	18
b) Abhängigkeit der Durchmessergröße des Vereisungskörpers von der Zeit bei konstanten Temperaturen	20
c) Abhängigkeit der Durchmessergröße des Vereisungskörpers von der Temperatur bei konstanten Zeiten	21
3. Diskussion	23
4. Zusammenfassung	28
D. LITERATUR	31

A. EINLEITUNG, VORBEMERKUNGEN UND ARBEITSGANG

1. Einleitung und Themastellung

Die beiden ersten Mitteilungen im Rahmen der Themengruppe "Grundlagen der operativen Anwendung tiefer Temperaturen in der klinischen Medizin" befaßten sich mit der Abkühlung und Eisbildung durch Kältesonden in wäßrigen Lösungen (GERLACH, MEINHARDT, PESCHEL, SPULER, STUCKE) bzw. untersuchten das Verhalten von Geweben in vitro bei lokalisierter Abkühlung und Vereisung (GERLACH, PESCHEL, SCHUBERT, SPULER, STUCKE).

Weitere Untersuchungen werden sich nun mit dem Verhalten lebenden Gewebes bei Einwirkung tiefer Temperaturen zu beschäftigen haben. Die in den beiden ersten Mitteilungen bereits kurz aufgeworfene Frage nach dem Einfluß der Durchblutung des lebenden Gewebes auf Form und Größe des Vereisungskörpers in Abhängigkeit von Zeit und Temperatur war Gegenstand dieser Untersuchungen. Es wurden dabei 200 Einzelversuche - durchgeführt an 65 Kaninchen - ausgewertet. Eine Vorversuchsreihe umfaßt dabei Untersuchungen an 10, eine Hauptversuchsreihe an 55 Tieren.

2. Anatomische Vorbemerkungen über die Gefäßversorgung am Gehirn

In der Ausbildung der basalen Hirnarterien finden wir bei den Säugern zwei Extreme, die durch zahlreiche Zwischenstufen miteinander verbunden sind. Die beiden Extreme sind: Versorgung des gesamten Circulus arteriosus durch die Aa. carotes internae bei rudimentären Aa. vertebrales (z.B. Artiodactyla)

oder Versorgung nur durch die Aa. vertebrales bei rudimentären Aa. carot. int. (z.B. LEMUR) (HAFFERL).

Sind alle zuführenden Arterien entwickelt, wie beispielsweise beim Menschen, dann versorgen die Aa. carot. int. den cranialen, die Aa. vertebrales den caudalen Gehirnabschnitt, wobei Carotissystem und Vertebralissystem durch Anastomosen miteinander in Verbindung stehen.

Nach KUNERT soll, im Gegensatz zur Katze, das Kaninchen ein dem Menschen vergleichbares cerebrales Gefäßsystem besitzen. Dennoch lassen sich einige auffällige Verschiedenheiten anführen:

Beim Kaninchen fehlt eine A. communicans anterior, d.h. also, rechte und linke A. carot. int. können - abgesehen von einigen winzigen Ästchen - keinen Kollateralkreislauf ausbilden. Weiter spielen beim Kaninchen - im Gegensatz zum Menschen - die Vertebralarterien die größere Rolle, die Aa. carot. int. sind nur schwach entwickelt. Bemerkenswert ist auch noch die Tatsache, daß beim Kaninchen beide Aa. vertebrales - wieder im Gegensatz zum Menschen - jeweils aus der A. subclavia entspringen. Schließlich sei noch darauf hingewiesen, daß das Kaninchengehirn nur sehr wenig gefurcht ist und relativ zum Körpergewicht kleiner ist als beim Menschen.

3. Material und Methodik

a) Material

Wie in den vorausgegangenen Versuchen wurde auch diesmal das mit flüssigem Stickstoff betriebene COOPER-Gerät als Kältequelle benützt. Zu den Untersuchungen verwendeten wir gesunde Kaninchen, deren Gewicht zwischen 1,5 und 2,5 kg lag.

Als Narkosemittel verwendeten wir teils 10-, teils 20-prozentiges Urethan. Zum Fixieren der Tiere diente das STÖLTINGSche stereotaktische Gerät. Die photographischen Aufnahmen wurden mit einer CONTAREX-Kamera durchgeführt.

b) Operatives Vorgehen

Zunächst wurden die Tiere an den für die Operationen vorgesehenen Körperregionen sorgfältig mittels einer elektrischen Rasiermaschine enthaart. Sodann wurde das Narkosemittel Urethan intraperitoneal verabreicht und hierauf abgewartet, bis die volle Narkosewirkung eingetreten war. (Unter voller Narkosewirkung wurde verstanden, wenn die Tiere bei Einschnitt oder Einstich im Halsgebiet keinerlei Schmerzreaktion mehr zeigten. Die regio colli erwies sich als das empfindlichste Operationsgebiet). Die hierzu nötige Menge an Narkosemittel lag im Durchschnitt bei 60 ml 10- bzw. 30 ml 20-prozentigem Urethan. Bei einigen wenigen, meist jüngeren Tieren genügten schon 30 ml des 10- bzw. 15 ml des 20-prozentigen Urethans, bei einigen, meist älteren Tieren waren dagegen bis zu 80 ml des 10- bzw. 40 ml des 20-prozentigen Urethans nötig, bis die volle Narkosewirkung, also das Toleranzstadium, erreicht worden war. Die Zeit von der Injektion bis zur vollen Narkosewirkung betrug im Durchschnitt 20 min., schwankte aber in einzelnen Fällen zwischen 5 und 30 Min. Diese individuellen Schwankungen sowohl hinsichtlich der nötigen Menge an Urethan als auch hinsichtlich der Zeit von der Injektion bis zur vollen Narkosewirkung lassen sich wahrscheinlich auf Unterschiede in der Ernährung, auf rassistisch bedingte Eigenheiten und auf das unterschiedliche Alter der Tiere zurückführen. Darüber hinaus dürften auch die Resorptionsbedingungen im jeweiligen Injektionsgebiet des Abdomens eine Rolle gespielt haben.

Daraufhin wurden die Tiere mittels des STÖLTINGschen stereo-taktischen Gerätes sowohl mit den beiden oberen dentes canini als auch mittels zweier speziell zugebogener Stahlstifte, welche in den knöchernen Gehörgang eingeführt wurden, fixiert. Der nächste Schritt war die Freilegung des knöchernen Schädeldaches: Mit einem Skalpel legte man einen Längsschnitt von 5 cm, spaltete die galea aponeurotica sowie das Periost und schob beide Häute mit einem scharfen Löffel zur Seite, so daß die bloßen Knochen des Schädeldaches freilagen. Da die meisten Versuche sowohl im vorderen als auch im hinteren Bereich jeder Hemisphäre des Großhirns durchgeführt wurden, also einmal im Versorgungsgebiet der Aa. carot. int., zum anderen in dem der Aa. vertebrales, waren auch 4 Öffnungen im Schädeldach nötig. Diese Öffnungen setzten wir mittels einer elektrischen Bohrmaschine, und zwar so, daß der Mittelpunkt eines jeden Bohrloches im vorderen Bereich jeweils 3,5 mm seitlich der Sagittalnaht auf Höhe der Coronarnaht, im hinteren Bereich 5 mm seitlich der Sagittalnaht, aber 12 mm dorsal der Coronarnaht zu liegen kam. Die Bohrlöcher wurden anschließend mehr oder weniger - je nach Tiefe der Temperatur und der somit zu erwartenden Kugelgröße - mittels einer feinen Knochenzange vorsichtig erweitert, ohne dabei die Dura zu verletzen. Hierauf bedeckten wir die Wunde mit einem sterilen Tupfer und verschlossen sie vorübergehend, indem wir die beiden gespaltenen Kopfhautteile über die Wundöffnung zogen und mit einer Klemme fixierten. Aufgabe einer weiteren Operation war es nun, die gewünschten hirnversorgenden Gefäße aufzusuchen, diese zu markieren um sie dann bzw. sofort zu unterbinden. Dabei wurde die A. carot. com. folgendermaßen freigelegt: Zunächst legten wir einen Hautschnitt in der Medianlinie des Halses, unterhalb der cartilago thyreoidea beginnend,

etwa 4 cm lang. Die Haut wurde nach rechts und links verschoben, der vordere Rand des M. sternocleidomastoideus mit der Sonde vom M. sternohyoideus abgelöst. Die A. carot. com. erscheint dann als weißlicher, pulsierender Strang, der noch von der fascia cervicalis umhüllt ist und von dieser freipräpariert werden muß. Die A. carot. com. wird nun sofort unterbunden oder zum Zweck der Unterbindung für später mit einem Faden markiert um sie dann gleich auffinden zu können (Durch Ligatur der A. carot. com. wird ein Kollateralkreislauf von der A. carot. externa her ausgeschlossen).

Als wesentlich komplizierter und risikoreicher erwies sich das Ausschalten der Blutversorgung von den Aa. vertebrales her. Versuche, die A. vertebralis im Bereich des Wirbelsäulenverlaufes aufzusuchen, schlugen fehl, da man stets, ehe man an die Arterien gelangte, die sehr empfindlichen Gefäße des Plexus venosus vert. verletzte und starke, schwer beherrschbare Blutungen das ganze Operationsgebiet unübersichtlich machten.

Am günstigsten erwies sich die Methode der indirekten Unterbindung der Aa. vertebrales, nämlich durch Ligatur der Aa. subclaviae, aus welchen beim Kaninchen beide Aa. vertebrales mittels eines Truncus cervicovertebralis entspringen. Die Operationsmethode zum Aufsuchen der Aa. subclaviae war die folgende: In der Medianlinie legt man einen 4-5 cm langen Hautschnitt, dessen Mitte auf den oberen Rand des Sternums fällt. Hierauf trennt man den Ansatz des M. sternocleidomastoideus und des M. pectoralis maior im I. Inter-costalraum vom Sternum ab, isoliert das obere Ende des Sternums oberhalb der ersten Rippen und trennt es mit Hilfe einer Schere ab. Dann erfolgt die Ablösung des Ursprunges des M. sternohyoideus und sternothyroideus sowie die Durch-

schneidung des Bindegewebes, welches als Fortsetzung der fascia cervicalis die Äste des arcus aortae von vorne her bedeckt. Entfernt man schließlich noch das Fettgewebe, so kommt die A. subclavia dextra rechts der A. carot. com. dextra zum Vorschein, wo sie links des N. vagus, ziemlich in der Tiefe liegt und schräg nach oben läuft. Die A. subclavia sinistra liegt links der A. carot. com. sinistra, etwas weiter caudal (Dieser Eingriff erwies sich als ziemlich schwierig und hatte eine relativ hohe sofortige Mortalität).

c) Ligaturen

Die cryobiologischen Versuche wurden bei normaler und verminderter Durchblutung des Gehirns ausgeführt:

1. bei Normaldurchblutung des Gehirns
2. bei Ligatur einer A. carot. com.
3. bei Ligatur beider Aa. carot. com.
4. bei Ligatur einer A. vertebralis
5. bei Ligatur beider Aa. vertebrales
6. bei Ligatur aller hirnversorgenden Gefäße

Sämtliche erhaltenen Werte konnten sowohl untereinander als auch mit den bei Normaldurchblutung erhaltenen Werten verglichen werden.

d) Abkühlungsmethodik

Im weiteren Gang der Versuche wurde - nach dem Belassen bzw. der ganzen oder teilweisen Unterbrechung der Blutversorgung am Gehirn - der Kopf des Tieres erneut fixiert und die Sonde des COOPER-Gerätes, nachdem sie an einem Stativ so befestigt worden war, daß sie nach oben und unten bewegt

werden konnte, aber nicht zur Seite abwich, senkrecht zur Hirnoberfläche ins Gehirngewebe eingeführt. Die Dura wurde kurz vorher mittels eines feinen Häkchens eingerissen. Hierauf stellte man an der Skala des COOPER-Gerätes den gewünschten Sollwert ein, wartete ab bis die ins Gehirn eingeführte Sondenspitze die Körpertemperatur von etwa 37 Grad Celsius erreicht hatte und schaltete das Gerät ein. Dabei nahm man die Zeit, die benötigt wurde vom Zeitpunkt des Einschaltens bis zum Erreichen des eingestellten Sollwertes. Die Sonde beließ man der gewünschten Zeit entsprechend im Gehirn. War diese erreicht, so zog man die Sonde aus dem Gehirngewebe und hatte an der Sondenspitze einen kugelförmigen, scharf begrenzten Körper vereisten Hirngewebes. Der Durchmesser dieser Vereisungskugel wurde nun mittels einer Schublehre bestimmt, eine nochmalige Messung wurde in 90 Grad zum ersten Durchmesser vorgenommen, so daß eventuelle Abweichungen von der Kugelform sofort festgestellt werden konnten.

Eine Reihe von Vereisungskörper wurde im Anschluß daran noch auf Millimeterpapier mit Hilfe einer Kamera photographisch festgehalten, so daß man die mit der Schublehre gefundenen Werte überprüfen konnte.

Am COOPER-Gerät wurden Solltemperaturen zwischen -10 und -180 Grad Celcius eingestellt. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Sondenaußenwerte, also die effektiven Temperaturen - wegen der Wärmeleitung zwischen Sondenspitze und Sondenaußenmantel - nicht den auf der Skala eingestellten Werten entsprachen. Grob gesagt beträgt die Sondenaußentemperatur knapp 2/3 der Sondeninnentemperatur, d.h. der eingestellten Werte. Als Vereisungsdauer (=die Zeit, während der die eingeschaltete Sonde im Gehirn belassen wurde, nachdem die gewünschte Solltemperatur erreicht worden war) wählten wir

Zeiten zwischen 10 sec. und 9 min., in den meisten Untersuchungen allerdings wurde eine Vereisungszeit von 120 sec. genommen.

In sämtlichen Versuchen wurden auch die "Anlaufzeiten" gemessen, d.h. die Zeiten vom Einschalten des Gerätes bis zum Erreichen der Solltemperaturen. Diese Zeitdauer war relativ lange, wenn beim Versuch selbst das COOPER-Gerät zum ersten Male eingeschaltet worden war. Diese Erscheinung läßt sich wahrscheinlich dadurch erklären, daß das Gerät beim ersten Einschalten eine gewisse Zeit benötigt, um den flüssigen Stickstoff durch die Zuleitung bis zur Sondenspitze vorzutreiben, gewissermaßen "die Leitung herzustellen". Im Bestreben diesen Fehler möglichst gering zu halten, schalteten wir das Gerät vor jedem Versuch mehrmals ein und aus. Dadurch erreichte dann das Gerät die gewünschte Solltemperatur relativ schnell.

B. VORVERSUCHE UND DEREN ERGEBNISSE

Eine Versuchsreihe an lebenden Kaninchengehirnen wurde nach 15 Einzelversuchen an 10 Tieren abgebrochen, nachdem sich der beschrittene Weg als undurchführbar erwiesen hatte. Mit der COOPER-Sonde setzten wir Kälteherde im lebenden Gehirn. Nach Überlebenszeiten von einigen Stunden bis 5 Tagen verstarben die Tiere bzw. wurden getötet. Sofort anschließend daran wurden die Gehirne herauspräpariert und in 10-prozentiger Formalinlösung konserviert. Bei der späteren Untersuchung der Gehirne erwies es sich jedoch als unmöglich, den ursprünglich gesetzten Vereisungskörper etwa in Form veränderten Gehirngewebes festzustellen oder

gar auszumessen. Lediglich ein bizarrer Nekroseherd war zu finden, der aber viel zu klein erschien, als daß er den ursprünglichen Vereisungskörper hätte darstellen können. Diese Vermutung erwies sich dann auch als zutreffend, als man das Ausmaß des beispielsweise bei einer Solltemperatur von -80 Grad Celsius gesetzten Nekroseherdes mit der Größe des bei der gleichen Temperatur in der Hauptversuchsreihe gesetzten Vereisungskörpers verglich. Auch wiesen die Kältenekroseherde - gesetzt bei gleicher Temperatur und Vereisungsdauer - sehr verschiedene Ausmaße und Formen auf, besonders wenn die Tiere die Operation verschieden lange überlebt hatten bzw. nach unterschiedlichen Zeiten getötet worden waren. Man kann wohl daraus schließen, daß postoperativ reaktive Vorgänge stattgefunden haben müssen, deren Ausmaß je nach längerer oder kürzerer Überlebenszeit größer oder kleiner war. Ferner läßt sich folgern, daß nicht alles Gewebe des Vereisungskörpers nekrotisch wird, sondern nur Bereiche, die der Sondenspitze näherliegen und somit tiefere Temperaturen erreichen als die Peripherie des Vereisungskörpers. Die ursprüngliche Form und Größe des Vereisungskörpers ließ sich auch nicht nach histologischer Aufarbeitung des Gewebes - jedenfalls nicht mit den herkömmlichen Methoden - feststellen. Also mußte eine andere Methode zur Bestimmung des Durchmessers des vereisten Hirngewebes gefunden werden, nämlich: das direkte Herausziehen des an der Sondenspitze fest haftenden Vereisungskörpers aus dem Gehirn.

In dieser Vorversuchsreihe konnten aber auch bereits Studien hinsichtlich der Gehirndurchblutung gemacht werden. So zeigte sich, wie bekannt (WENKER), daß die Unterbindung einer oder simultan beider Aa. carot. com. von den Tieren im allgemeinen ohne nennenswerte Symptome einer Schädigung

toleriert werden konnten. Nur 1 Tier starb 15 Minuten nach der Ligatur beider Carotiden. Das sonst gute Überstehen des Eingriffes läßt sich zweifellos auf eine relativ rasche Adaptation an die pathologischen Versorgungsbedingungen zurückführen. Von den beim Kaninchen recht stark entwickelten Aa. vertebrales baut sich demnach ein gut funktionierender Kollateralkreislauf auf. Daß die Ausbildung eines solchen Kompensationskreislaufes in hohem Maße zeitabhängig ist, demonstrieren die folgenden 4 Versuche mit den Abtauzeiten.

Die ersten beiden Versuche wurden sofort nach Unterbindung beider Carotiden durchgeführt.

Temperatur	Vereisungszeit	Abtauzeit	Sondeneinstich ins Gehirn
- 40° C	120 sec.	32 sec.	li. vo.
- 50° C	120 sec.	39 sec.	re. vo.

Die nächsten beiden Versuche wurden etwa 20 Stunden nach der Unterbindung durchgeführt.

Temperatur	Vereisungszeit	Abtauzeit	Sondeneinstich
- 40° C	120 sec.	27 sec.	li. vo.
- 50° C	120 sec.	31 sec.	re. vo.

Aus diesen Ergebnissen läßt sich folgern, daß der Kollateralkreislauf nach den 20 Stunden besser funktionierte, also das Einstichgebiet der Sonde besser durchblutet war, was die kürzeren Abtauzeiten zufolge hatte. (Um möglichst einheitliche Bedingungen zu schaffen, wurde das COOPER-Gerät vor jedem Versuch einige Male kurz in Betrieb genommen. Jeder Versuch wurde dann 3 min. nach dem letzten Einschalten des Gerätes durchgeführt).

Anders dürften die Verhältnisse bei der Unterbindung beider Aa. vertebrales liegen. Obgleich wir hier keine Versuche mit den Abtauzeiten durchführten, kann es als sicher angenommen werden, daß auch nach längerer Zeit kein ausreichender Kompensationskreislauf von den Aa. carot. int. her aufgebaut werden kann, da diese zu schwach entwickelt sind. Wie dann auch in der Hauptversuchsreihe zu sehen war, verstarben alle Tiere spätestens 40 min. nach der Ligatur beider Aa. vertebrales. Der verhältnismäßig rasche Tod muß allerdings zum großen Teil auf die Schwere des Eingriffes selbst (Blutverlust, Schock und dgl.) zurückgeführt werden.

Ein weiterer Versuch mit den Abtauzeiten demonstriert nochmals den Einfluß der Durchblutung. Dabei wurde der erste der beiden Einzelversuche am normal durchbluteten Gehirn, der zweite am nicht mehr durchbluteten Gehirn durchgeführt. Es wurde jeweils mit einer Temperatur von -70 Grad Celsius vereist, die Vereisungszeit betrug beidermals 120 sec. Die Abtauzeiten (von -70 bis 0 Grad Celsius) waren:

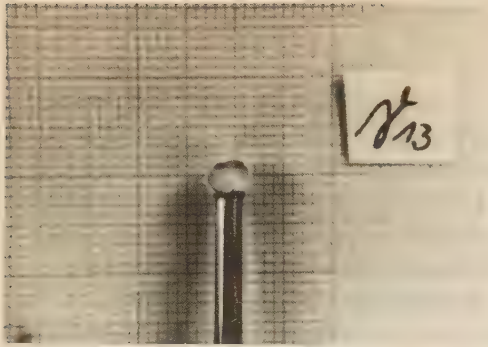
Beim normal durchbluteten Gehirn: 54 sec.

Beim nicht mehr versorgten Gehirn: 78 sec.

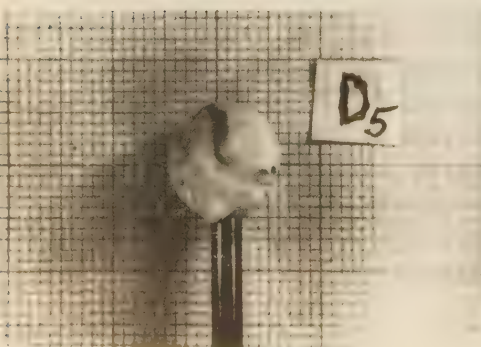
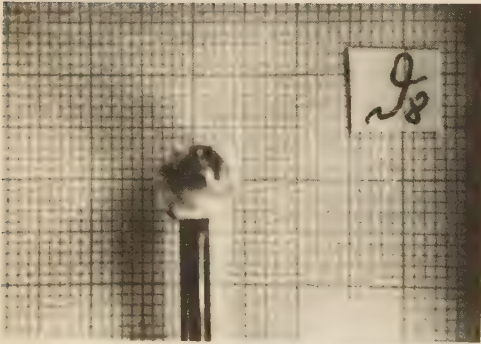
C. HAUPTVERSUCHE UND DEREN ERGEBNISSE

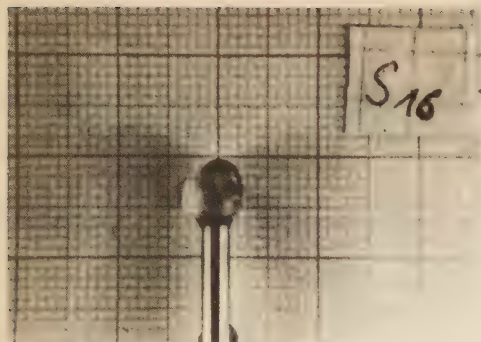
1) Form des Vereisungskörpers

In den weitaus meisten Fällen wies der Vereisungskörper eindeutig die Kugelform auf. Man muß sich aber vor Augen halten, daß bei den im Durchschnitt - verglichen mit den in vitro Werten - kleineren Vereisungskörpern geringe Abweichungen von der Kugelform kaum erfaßt werden konnten und somit vernachlässigt werden mußten. Lediglich etwas mehr als 10 % der Fälle zeigten Abweichung von der Kugelform. Dabei kamen hauptsächlich ellipsoide und abgeplattete Gebilde vereisten Gehirngewebes zum Vorschein.

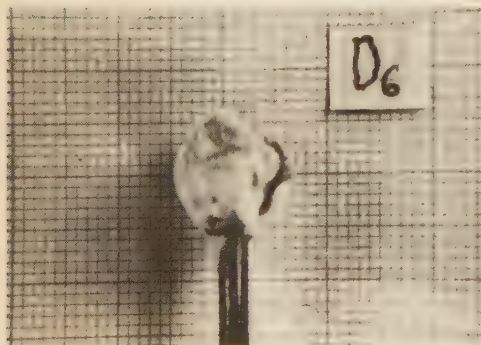
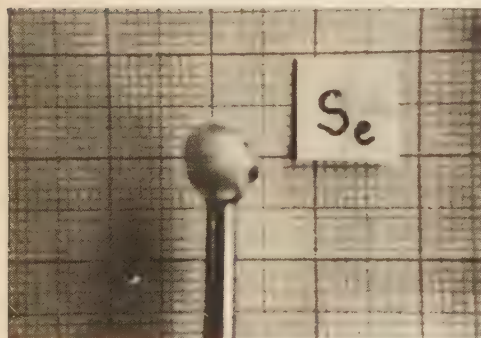


Die in den meisten Fällen
aufgetretenen Kugelformen
der Vereisungskörper.





Beispiele für Abweichungen
von der Kugelform.



2) Durchmessergröße des Vereisungskörpers bei Normal- und Mangeldurchblutung in Abhängigkeit von Zeit und Temperatur

Nummer des Vers.	Durchblutung	Temperatur (Grad Cels.)	Vereisungs- zeit (sec.)	Sondenein- stich (Lo- kalisation)	Durchmesser (mm)
1	li.Car.ligiert	-15	120	re.vo.	2,75
	"	"	"	li.vo.	4,3
	alle Gef. lig.	"	60	re.hi.	2,75
	"	"	180	li.hi.	4,8
2	re.Car.ligiert	-20	120	li.vo.	4,2
	"	"	"	re.vo.	4,6
	"	"	"	li.hi.	Abweichung v. d.Kugelform
3	frei	-20	60	re.vo.	4,1
	"	"	"	re.hi.	4,3
	beide Car.lig.	"	"	li.vo.	4,5
4	beide Vert.lig.	-20	120	li.hi.	4,8
	frei	"	"	re.hi.	4,5
	alle Gef. lig.	"	60	li.vo.	4,7
5	frei	-15	120	li.hi.	2,75
	beide Vert.lig.	"	"	re.hi.	4,2
	alle Gef.lig.	-10	"	li.vo.	2,75
	"	"	"	re.vo.	2,75
6	frei	-30	120	re.vo.	5,6
	"	"	"	re.hi.	5,6
	beide Car.lig.	"	"	li.vo.	6,3
	"	"	"	li.hi.	5,8
7	re.Car. lig.	-30	120	re.vo.	6,2
	"	"	"	re.hi.	5,9
	"	"	"	li.vo.	5,5
	"	"	"	li.vo.	5,5

8	frei	-30	60	re.vo.	5,5
	"	"	"	re.hi.	5,5
	Beide Car. lig.	"	"	li.vo.	6,1
	"	"	"	li.hi.	5,6
9	frei	-30	60	re.vo.	5,5
	"	"	"	re.hi.	5,5
	beide Car. lig.	"	"	li.vo.	5,8
	"	"	"	li.hi.	Abweichung v. Kugelform
10	frei	-30	120	re.hi.	5,6
	"	"	"	li.hi.	5,4
	beide Car. lig.	"	240	li.vo.	6,7
	"	"	300	re.vo.	7,0
11	beide Car. lig.	-30	15	li.vo.	4,5
	"	"	60	re.vo.	5,7
	"	"	120	li.vo.	6,1
	"	"	180	re.vo.	6,4
12	beide Car. lig.	-30	360	li.vo.	7,2
	"	"	420	re.vo.	7,4
	"	"	240	re.hi.	Abweichung v. d.Kugelform
	"	"	300	li.hi.	"
13	frei	-30	15	li.vo.	4,4
	"	"	30	re.vo.	4,8
	"	"	150	li.vo.	5,6
	"	"	180	re.vo.	5,7
14	frei	-30	90	li.hi.	Abweich. v. Kf.
	beide Car. lig.	"	480	re.vo.	7,5
	"	"	540	li.vo.	7,6
15	frei	-30	240	li.vo.	5,8
	"	"	300	re.vo.	5,9
	"	"	120	li.hi.	5,5
	I-Vert. lig.	"	120	re.hi.	5,6

16	frei	-30	120	li.hi.	5,4
	beide Vert.lig.	"	120	re.hi.	6,2
17	frei	-30	60	re.vo.	Abweich.v.Kf.
	alle Gef. lig.	"	180	li.vo.	6,4
	"	"	60	re.hi.	5,7
18	frei	-30	360	re.vo.	6,1
	"	"	480	li.vo.	6,2
	"	"	300	Mitte hi.	Abweich.v.Kf.
19	frei	-40	120	re.vo.	6,3
	"	"	120	li.vo.	6,8
	alle Gef. lig.	"	60	re.hi.	6,4
	"	"	180	li.hi.	8,1
20	frei	-40	60	re.vo.	Abweich.v.Kf.
	beide Car. lig.	"	60	re.hi.	5,7
	"	"	60	li.hi.	5,7
21	frei	-40	120	re.hi.	5,8
	I.Vert. lig.	"	120	li.hi.	5,8
22	frei	-40	120	re.hi.	6,1
	beide Vert.lig.	"	120	li.hi.	6,7
23	frei	-50	120	re.vo.	6,7
	"	"	120	re.hi.	6,5
	beide Car. lig.	"	120	li.vo.	7,2
	alle Gef. lig.	"	120	li.hi.	7,0
24	frei	-50	120	re.vo.	6,8
	"	"	120	re.hi.	6,7
	beide Car. lig.	"	120	li.vo.	7,3
	"	"	120	li.hi.	6,9
25	frei	-50	30	re.vo.	5,8
	"	"	30	re.hi.	5,6
	beide Car. lig.	"	30	li.vo.	6,1
	"	"	30	li.hi.	6,0

26	beide Car. lig.	-50	20	re.vo.	5,9
	"	"	"	li.vo.	5,9
	"	"	"	re.hi.	5,8
	"	"	"	li.hi.	5,7
27	beide Car. lig.	-50	45	re.vo.	6,2
	"	"	"	re.hi.	6,0
	"	"	60	li.vo.	6,4
	"	"	"	li.hi.	6,4
28	beide Car.u.I Vert.lig.	-50	120	re.vo.	7,5
	"	"	"	re.hi.	Abweich.v.Kf.
	"	"	"	li.hi.	7,0
	frei	"	"	li.vo.	5,9
29	re. Car. lig.	-50	120	li.vo.	6,5
	"	"	"	li.hi.	6,5
	"	"	"	re.vo.	7,0
	"	"	"	re.hi.	6,8
30	frei	-50	120	li.hi.	6,2
	I. Vert. lig.	"	"	re.hi.	6,1
	alle Gef. lig.	"	60	li.vo.	6,6
	"	"	180	re.vo.	7,6
31	frei	-50	120	re.hi.	6,3
	beide Vert. lig.	"	120	li.hi.	6,9
32	beide Car. lig.	-60	60	li.vo.	7,4
	"	"	"	re.vo.	7,3
	"	"	"	li.hi.	7,0
	"	"	"	re.hi.	6,9
33	frei	-60	60	re.vo.	6,6
	beide Car.lig.	"	"	re.hi.	7,0
	"	"	"	li.hi.	7,2
	alle Gef. lig.	"	"	li.vo.	7,4

34	frei	-60	120	re.hi.	7,2
	li.Car. lig.	"	"	re.vo.	7,1
	"	"	"	li.vo.	7,5
	alle Gef.lig.	"	"	li.hi.	7,6
35	frei	-60	120	li.hi.	7,1
	I.Vert. lig.	"	"	re.hi.	7,0
36	frei	-60	120	li.hi.	7,2
	beide Vert.lig.	"	"	re.hi.	7,9
37	beide Cer. lig.	-70	120	re.vo.	7,7
	"	"	"	re.ho.	7,6
	"	"	"	li.vo.	7,8
	"	"	"	li.hi.	7,6
38	frei	-70	60	re.hi.	7,7
	beide Vert. lig.	"	"	li.hi.	8,0
39	frei	-80	120	li.vo.	8,1
	"	"	90	li.hi.	8,0
	"	"	60	re.vo.	7,7
	"	"	30	re.hi.	7,1
40	frei	-80	10	re.vo.	5,9
	"	"	20	li.vo.	6,3
	"	"	120	li.hi.	8,7
	beide Vert.lig.	"	120	re.hi.	9,2
41	frei	-80	30	re.vo.	6,8
	"	"	40	li.vo.	7,2
	"	"	120	li.hi.	8,3
	beide Vert. lig.	"	120	re.hi.	8,9
42	frei	-80	50	re.vo.	7,5
	"	"	70	li.vo.	7,9
	"	-100	120	re.Hemisphäre	9,6
	alle Gef. lig.	-100	120 li.	"	10,7

43	frei	-80	90	re.vo.	8,3
	"	"	180	li.vo.	9,1
	"	-110	120	re.Hemisphäre	10,4
	alle Gef. lig.	-110	120	li. "	11,2
44	frei	-80	120	re.hi.	8,3
	beide Car.lig.	"	10	re.vo.	6,3
	"	"	20	li.vo.	6,7
	alle Gef. lig.	"	120	li.hi.	9,3
45	beide Car.lig.	-80	30	re.vo.	7,2
	"	"	40	li.vo.	7,4
	"	"	60	li.hi. Abweich.v.Kf.	
46	frei	-120	120	li.Hemisphäre	10,9
	beide Car.lig.	-80	50	re.vo.	7,6
	"	"	70	li.vo.	8,2
	alle Gef. lig.	-120	120	re.Hemisphäre	13,3
47	frei	-140	120	re.Hemisphäre	11,5
	"	-160	120	li. "	12,1
48	beide Car.lig.	-80	90	re.vo.	8,8
	"	"	180	li.vo.	9,7
	alle Gef. lig.	-180	300	Mitte des Gehirns	18,5
49	beide Car.lig.	-80	240	re.vo.	10,5
	"	"	120	li.vo.	9,2
	alle Gef. lig.	-120	300	re.Hemisphäre	Abweich.v.Kf.
50	beide Car. lig.	-80	300	li.vo.	10,6
	"	"	480	re.vo.	11,9
	"	"	120	li.hi.	8,3
	"	"	180	re.hi. Abweich.v.Kf.	
51	frei	-80	300	li.vo.	9,9
	"	"	480	re.vo.	10,5
	alle Gef. lig.	"	60	li.vo.	8,3

52	frei	-80	50	li.vo.	8,1
	"	"	240	re.vo.	9,6
53	re.Car. lig.	-80	120	li.vo.	8,8
	"	"	120	re.vo.	9,0
	"	"	120	re.hi.	8,8
	re.Car. u.I.Vert.lig.	"	120	li.hi.	8,9
54	frei	-90	60	li.vo.	8,2
	"	"	120	re.vo.	8,8
55	frei	-90	120	re.vo.	8,7
	"	"	120	re.hi.	Abweich.v.Kf.
	beide Car. lig.	"	120	li.vo.	9,4

a) Einfluß der Durchblutungsverhältnisse auf die Durchmessergröße

Hinsichtlich des Einflusses der Durchblutungsverhältnisse auf die Durchmessergrößen zeigten die Ergebnisse, daß bei Mangel durchblutung die Durchmesser fast ausnahmslos größer, bei völligem Blutabschluß des Gehirns maximal waren.

Ein Vergleich von 3 Werten, gesetzt bei Normaldurchblutung, mit 3 Werten gesetzt bei totalem Blutabschluß des Gehirns, ergab bei Temperaturen von -50, -60, -80 und einer Vereisungszeit von 120 sec. einen im Durchschnitt 0,6 mm größeren Durchmesser der im Ausfallgebiet erhaltenen Werte. Der entsprechende Versuch, diesmal mit Temperaturen von -100, -110, -120 Grad Celsius bei wiederum 120 sec. Vereisungszeit, ergab eine Durchschnittsdifferenz der Kugeldurchmesser von 1,4 mm.

Unterbindet man beide Aa. vertebrales, so tritt auch in diesem Falle - verglichen mit den Werten bei Normaldurchblutung dieses Versorgungsgebietes - eine deutliche Größenzunahme des Vereiskörpers auf. Hier wurden 8 Werte bei voller Blutversorgung

ermittelt und denen, die nach Ligatur beider Aa. vertebrales erhalten wurden, gegenübergestellt. Dabei ergab sich ein durchschnittlich um 0,55 mm größerer Durchmesser der letzteren. Der entsprechende Versuch im Versorgungsbereich der Aa. carot. int. brachte nach Unterbindung beider Aa. carot. com. einen um durchschnittlich 0,53 mm größeren Durchmesser des Vereisungskörpers. Bei der Ligatur einer A. carot. com. war stets der im Ausfallsgebiet gesetzte Vereisungskörper größer, der der nicht unterbundenen Seite kleiner. Bei einem Vergleich, bei dem wir 5 Werte, gesetzt im Ausfallsgebiet, mit 5 Werten, gesetzt im normal durchbluteten Bereich, miteinander verglichen, ergab sich ein durchschnittlich 0,4 mm stärkerer Durchmesser für das Ausfallsgebiet.

Der analoge Versuch im Versorgungsgebiet der Aa. vertebrales, nämlich die Ligatur einer A. vertebralis, zeigte keine Vergrößerung des Durchmessers. Schließlich ergab noch ein Vergleich von je 6 Versuchen, welche im Versorgungsgebiet der Aa. vertebrales durchgeführt wurden, einen durchschnittlich 0,2 mm größeren Durchmesser, wenn die beiden Aa. carot. com. unterbunden worden waren.

In den graphischen Darstellungen 1 - 4 sind die Kurvenverläufe sowohl bei Normal- als auch bei Mangel durchblutung dargestellt. Kurve 4 zeigt auch einen Verlauf bei Totalabschluß der hirnvorsorgenden Gefäße. Allerdings sind die Unterschiede nicht sehr markant, da es sich in diesem Falle um nicht sehr tiefe Temperaturen und um eine kurze Vereisungszeit handelt.

Die Aufnahmen S₁₇ und S₂₀ demonstrieren den Einfluß der Durchblutung. Bei einer Temperatur von -15 Grad Celsius und einer Vereisungszeit von 120 sec. bildet sich bei Normaldurchblutung an der Sonde nur ein hauchdünner Überzug vereisten Hirngewebes. Nach Unterbindung der dieses Gebiet versorgenden A. carot.com. zeigt sich nunmehr eine Vereisungskugel, deren Durchmesser 4,3 mm beträgt.

b) Abhängigkeit der Durchmessergröße des Vereisungskörpers von der Zeit bei konstanten Temperaturen

Bei konstanten Temperaturen zeigten die Durchmessergrößen eine klare Abhängigkeit von der Zeit. Jedoch war der Anstieg der Durchmessergrößen keinesfalls linear, sondern stieg zunächst rasch, dann aber immer langsamer an.

Darstellung 1:

Abhängigkeit des Eiskugeldurchmessers von der Zeit bei konstanten Temperaturen ($T_1 = -30$, $T_2 = -80$ Grad Celsius). Messungen im Versorgungsgebiet der Aa. carot. int. bei voller Durchblutung (T_{1a} , T_{2a}) sowie bei unterbundenen Aa. carot. int. (T_{1b} , T_{2b}).

Ermittelte Werte im Versorgungsgebiet der Aa. carot. int. bei Normaldurchblutung für -30 Grad Celsius:

t(sec):	15	30	60	120	180	240	300	360	420	480
D(mm):	4,4	4,8	5,6	5,5	5,7	5,8	5,9	6,1	6,2	6,2

Ermittelte Werte bei unterbundenen Aa. carot. com., aber sonst gleichen Bedingungen:

t(sec):	15	60	120	180	240	300	360	420	480	540
D(mm):	4,6	5,7	6,1	6,4	6,7	7,0	7,2	7,4	7,5	7,6

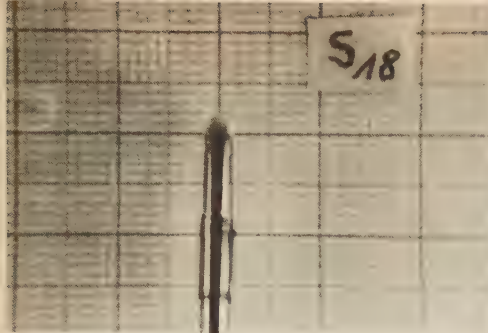
Ermittelte Werte im Versorgungsgebiet der Aa. carot. int. bei Normaldurchblutung für -80 Grad Celsius:

t(sec):	10	30	70	90	120	180	240	300	480
D(mm):	5,9	6,8	7,9	8,3	8,3	9,1	9,6	9,9	10,5

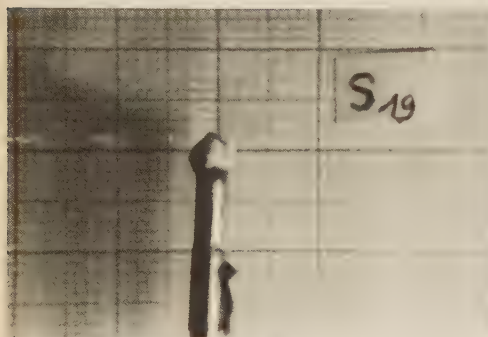
Ermittelte Werte bei unterbundenen Aa. carot. com., aber sonst gleichen Bedingungen:

t(sec):	10	30	70	90	120	180	240	300	480
D(mm):	6,3	7,2	8,2	8,8	9,2	9,7	10,5	10,6	11,9

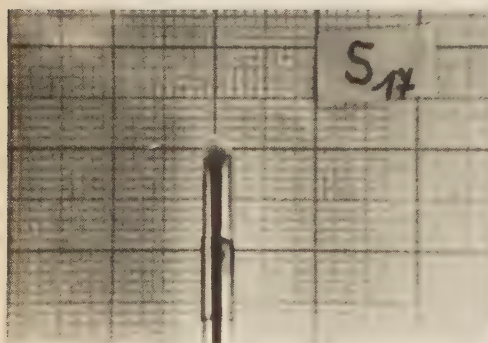
Die Bilder S_{18} und S_{19} dienen zur Demonstration. S_{18} zeigt die "leere" Sonde, nachdem 60 sec. lang im nicht mehr durchbluteten Gehirn vereist worden war. S_{19} demonstriert die Sonde mit dem Eiskörper nach einer Vereisungszeit von 180 sec.

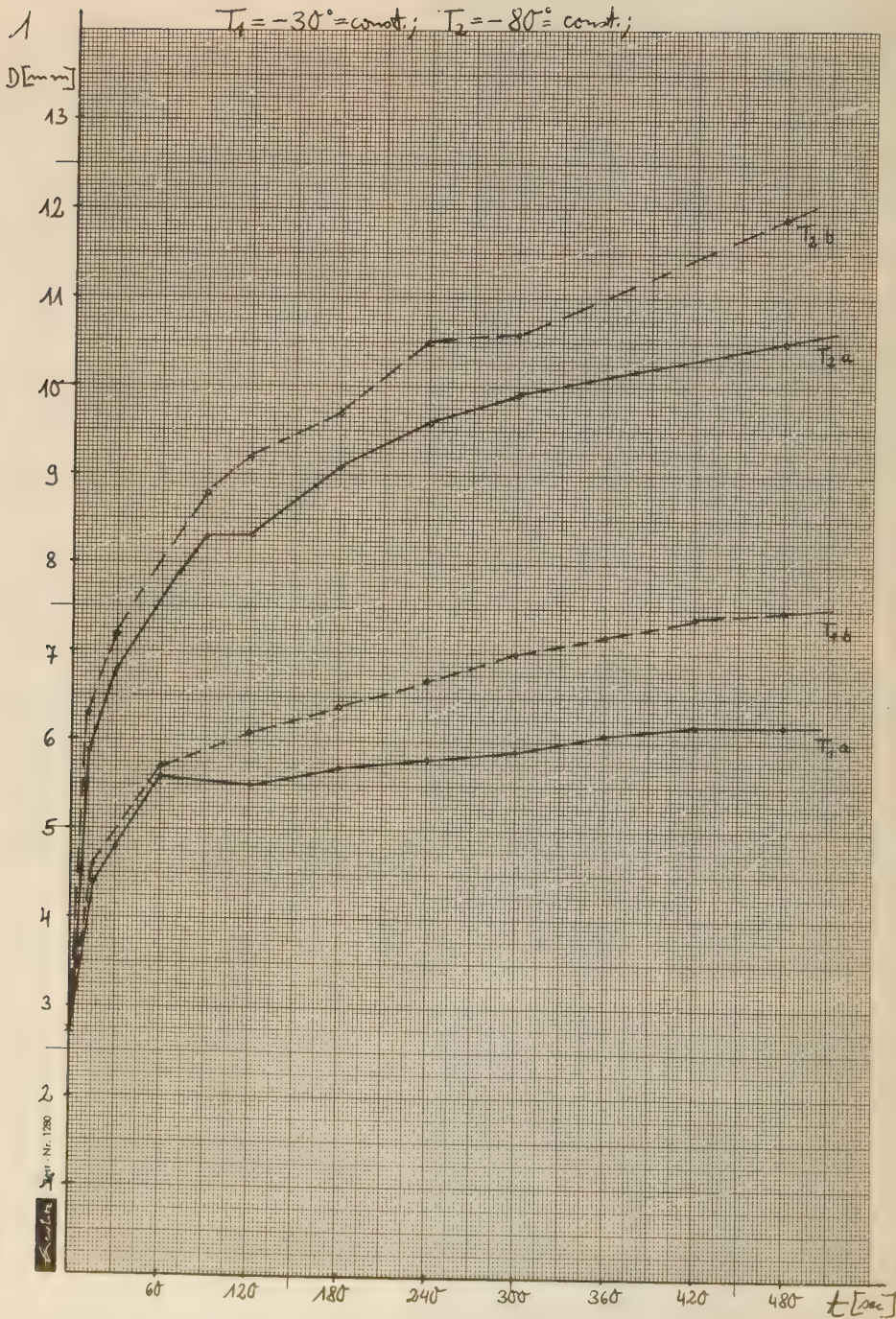


Nach totalem Abschluß der Blutzufuhr zum Gehirn zeigt sich bei -15 Grad Cels. und 60 sec. Vereisungsdauer nur ein feiner Überzug vereisten Hirngewebes an der Sonde. Nach 180 sec. Vereisungszeit beträgt der Durchmesser des Vereisungskörpers 4,8 mm.



Im Versorgungsgebiet der Aa. carot.int. bildet sich bei -15 Grad Cels. und 120 sec. Vereisungsdauer unter normalen Durchblutungsbedingungen nur ein feiner Eisbelag an der Sonde. Nach Ligatur beider Aa. carot.com. beträgt der Durchmesser des Vereisungskörpers 4,2 mm.





c) Abhängigkeit der Durchmessergröße des Vereisungskörpers von der Temperatur bei konstanten Zeiten

Auch in diesem Fall finden wir einen steten Zuwachs der Durchmessergröße mit Senkung der Temperaturen. Aber auch hier handelt es sich um keinen linearen Anstieg der Durchmessergrößen. Zur Demonstration der Verhältnisse dienen die Diagramme 2 - 4.

Darstellung 2:

Abhängigkeit des Eiskörperdurchmessers von der Temperatur bei konstanter Zeit ($t=120$ sec). Messungen im Versorgungsgebiet der Aa. carot. int. bei voller Durchblutung (t_a) und bei unterbundenen Aa. carot.com. (t_b) sowie im Versorgungsgebiet der Aa. vertebrales bei Normaldurchblutung (t_v) und bei Ligatur der Aa. vert. (t_b).

Ermittelte Werte im Versorgungsgebiet der Aa. Carot. int. bei Normaldurchblutung für $t=120$ sec.:

T(Grad Cels.):	-15	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90
D(mm):	-	4,2	5,6	6,3	6,7	7,1	7,7	8,5	8,8

Ermittelte Werte unter gleichen Bedingungen, aber unterbunden.

Aa.car. com.:

T(Grad Cels.):	-15	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90
D(mm):	4,3	4,6	6,2	6,8	7,2	7,5	7,9	9,0	9,4

Ermittelte Werte im Versorgungsgebiet der Aa. vertebrales bei voller Durchblutung für $t=120$ sec.:

T(Grad Celsius):	-15	-20	-30	-40	-50	-60	-80	-90
D(mm):	-	4,5	5,4	6,1	6,3	7,2	8,3	8,7

Ergebnisse bei unterbundenen Aa. vert. und sonst gleichen Bedingungen:

T(Grad Cels.):	-15	-20	-30	-40	-50	-60	-80	-90
D(mm):	4,2	4,8	6,2	6,7	6,9	7,9	8,9	9,2

Mittelwerte aller 4 Kurven:

T(Grad Cels.):	-15	-20	-30	-40	-50	-60	-70	-80	-90
D(mm):	3,5	4,5	5,7	6,4	6,8	7,4	7,8	8,7	9,0

2

 $t_c = 120 \text{ sec} = \text{const.}; t_v = 120 \text{ sec} = \text{const.};$ $D[\text{mm}]$

10

9

8

7

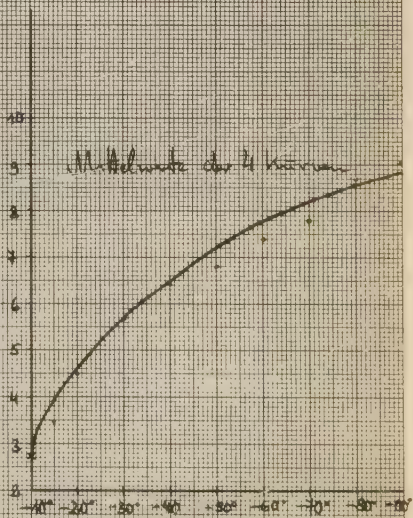
6

5

4

3

2

 t_{cb} t_{ca} t_{cb} t_{va} 

Best. N. 2000

Kellin

-10° -20° -30° -40° -50° -60° -70° -80° -90° -100° [Grad Cels. us.]

Darstellung 3:

Abhängigkeit des Eiskörperdurchmessers von der Temperatur bei konstanten Zeiten ($t_1=60$, $t_2 = 120$ sec.). Messungen im Versorgungsgebiet der Aa. carot. int. bei voller Durchblutung (t_{1a} , t_{2a}) sowie bei unterbundenen Aa. carot. com. (t_{1b} , T_{2b}).

Ermittelte Werte im Versorgungsgebiet der Aa. carot. int. bei Normaldurchblutung für $t=60$ sec.:

T(Grad Cels.):	-15	-20	-30	-50	-60	-80	-90
D(mm):	-	4,1	5,5	5,9	6,6	7,7	8,2

Ergebnisse bei unterbundenen Aa. carot. com., sonst gleichen Bedingungen:

T(Grad Cels.):	-15	-20	-30	-50	-60	-80	-90
D(mm):	-	4,5	5,9	6,4	7,4	8,1	8,5

Die Werte für $t=120$ sec. sind aus der Darstellung 2 bzw. deren Tabelle zu entnehmen.

Darstellung 4:

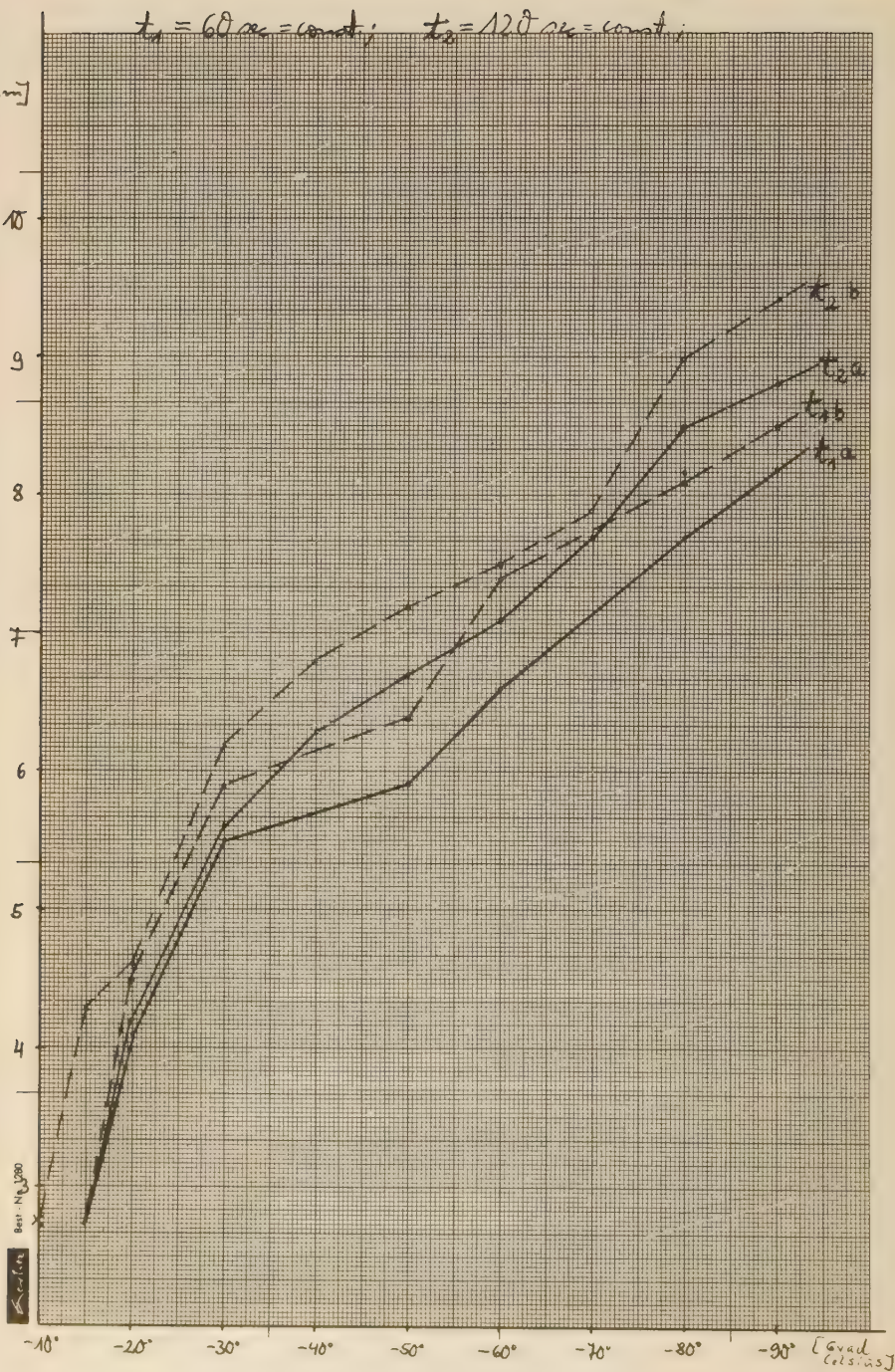
Abhängigkeit des Eiskörperdurchmessers von der Temperatur für $t=60$ sec. bei Normaldurchblutung (t_a), unterbundenen Aa. carot. com. (t_b) und totalem Abschluß aller Hirngefäße. Die Messungen wurden im Versorgungsbereich der Aa. carot. int. durchgeführt.

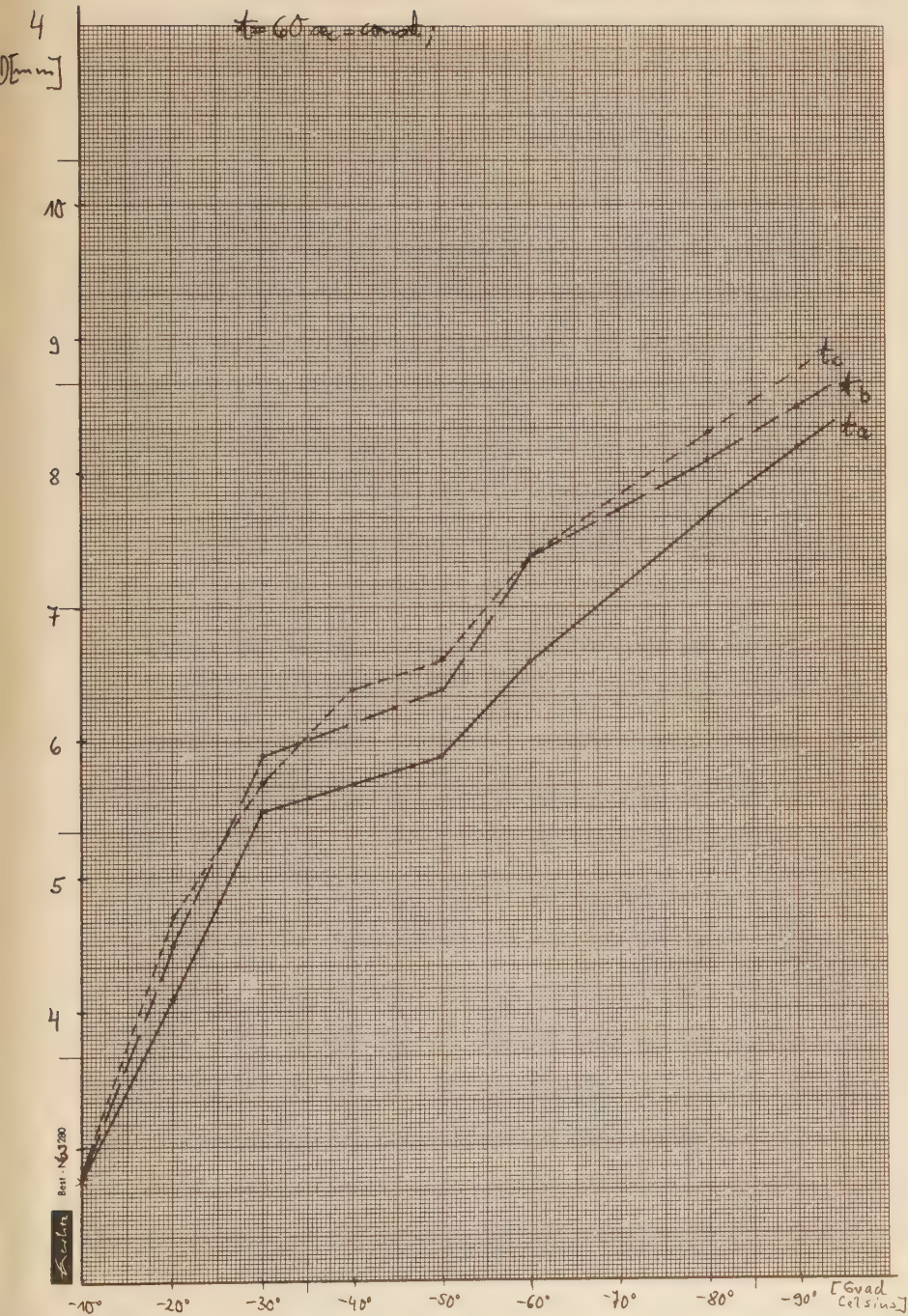
Die Werte bei Normal- und Mangeldurchblutung siehe Darstellung 3. Ergebnisse bei Ligatur aller hirnversorgenden Gefäße für $t=60$ sec.:

T(Grad Cels.):	-15	-20	-30	-40	-50	-60	-80
D(mm):	-	4,7	5,7	6,4	6,6	7,4	8,3

3

D[mm]

 $t_1 = 60 \text{ sec} = \text{const.}; \quad t_2 = 120 \text{ sec} = \text{const.};$




3) Diskussion

Wie in den Ergebnissen erwähnt, fand sich immerhin in etwas mehr als 10 % der Fälle eine Abweichung von der Kugelform. Es stellt sich angesichts dieser Tatsache die Frage nach den Ursachen dieser Erscheinung. Die häufigsten Varianten waren dabei die ellipsoide und die abgeplattete Form des Vereisungskörpers. Mit größter Wahrscheinlichkeit lassen sich diese Abweichungen einmal auf ein oder mehrere in der Nähe des Vereisungsprozesses befindliche größere Blutgefäße zurückführen. Zum anderen dürfte auch fehlerhaftes Eingehen mit der Sonde, etwa nicht senkrechter Einstich, so daß die Sonde ganz in der Nähe eines Schädelknochens zu liegen kam, eine Rolle gespielt haben.

Auf Grund der in den weitaus meisten Einzelversuchen angetroffenen Kugelform läßt sich - wenigstens im Bereich der Sonden-einstichgebiete - auf eine recht gleichmäßige Blutgefäßverteilung schließen. Es wäre allerdings auch denkbar, daß selbst die größeren Gefäßäste noch immer relativ so geringkalibrig sind, daß sie beim Vereisungsprozeß schon nach kürzester Einwirkung der tiefen Temperaturen und als Wärme-transportwege weitgehend ausfallen.

Aus den Tabellen läßt sich deutlich ersehen, daß die Durchmessergröße der Vereisungskugeln sowohl von den Durchblutungsbedingungen als auch von der Tiefe der Temperatur und der Vereisungszeit abhängig ist.

Den zentralen Punkt unserer Arbeit stellt die Untersuchung über den Einfluß der Durchblutung auf den Umfang der Eisbildung dar. Dabei haben wir erfahren: Die Drosselung bzw. Ausschaltung des Blutstromes erbringt eine signifikante Zunahme der Durchmessergrößen, die - wie in den Ergebnissen fest-

gestellt wurde - meist um 0,5 mm liegt und bei völligem Blutabschluß des Gehirns noch weiter ansteigt (Die Diagramme geben diese Verhältnisse wieder). Dieses weitere Ansteigen der Durchmessergrößen nach totalem Blutabschluß des Gehirns ist mit dem Ausfall von Kollateralkreisläufen erklärbar, welche sich zweifellos bei der Durchgängigkeit anderer hirn-versorgender Gefäße in mehr oder minder starkem Umfange aufbauen. Die stärkste Potenz zum Aufbau solcher Kollateral-kreisläufe zeigen im Gehirnbereich die Aa. vertebrales und deren Zweigsysteme, welche dann von der A. basilaris aus-gehen. So läßt sich vielleicht auch der relativ geringere Durchmesserzuwachs des Eiskörpers bei Ligatur nur einer A. carot. com. im Ausfallsgebiet erklären. Er beträgt nur 0,4 mm während er in den anderen Ausfallsgebieten durch-schnittlich mehr als 0,5 mm beträgt. Da sich, auf Grund des Fehlens einer A. communicans ant., von der anderen A. carot. int. her kein Kompensationskreislauf ausbilden kann, muß man annehmen, daß eine gewisse Mitversorgung von seiten der Aa. vertebrales erfolgt. Auch hat sich gezeigt, daß eine A. ver-tebralis zur Versorgung ausreicht, denn nach Ligatur nur einer A. vertebrales wurden keine größeren Durchmesser er-zielt. Wie in den Ergebnissen erwähnt, fand sich eine Zu-nahme des Durchmessers am Eiskörper bei Versuchen im Ver-sorgungsgebiet der Aa. vertebrales, wenn beide Aa. carotides com. unterbunden worden waren. Diese Erscheinung läßt sich vielleicht mit einer geringgradigen kompensatorischen Ver-lagerung des Blutvolumens nach cranial, auf Kosten der cau-dalen Anteile, erklären, oder anders ausgedrückt: die Aa. vertebrales zweigen einen geringen Blutanteil, der zur Ver-sorgung der caudalen Hemisphärenanteile bestimmt wäre, an die insuffizienten cranialen ab.

Bei der Betrachtung der graphischen Darstellung I, in welcher die Durchmessergröße bei konstanten Temperaturen in Abhängig-

keit von den Vereisungszeiten aufgetragen sind, läßt sich erkennen, daß die Durchmessergrößen in den ersten sec. am raschesten anwachsen, nach einigen min. nur mehr geringgradig zunehmen, schließlich aber nicht mehr weiter ansteigen: der Gleichgewichtszustand ist erreicht. Wir haben es demnach mit keinem linearen Anstieg zu tun, sondern die Kurven verlaufen asymptotisch. Der Gleichgewichtszustand wird bei höheren Temperaturen rascher erreicht als bei tieferen. Auch stellt sich dieser bei Normaldurchblutung anscheinend schneller ein als bei Mangeldurchblutung. Aus den Versuchen mit der Temperatur von -15 Grad Cels. bei Mangeldurchblutung geht sehr augenscheinlich die Rolle der Vereisungsdauer hervor. Wird nämlich die Sonde bereits nach einer Vereisungszeit von 60 sec. aus dem Gehirn entnommen, so ist nur ein feiner Überzug festzustellen. Beläßt man dagegen die Sonde 120 sec. im Gehirn oder mehr, so bildet sich ein deutlich sichtbarer und meßbarer Körper aus gefrorenem Hirngewebe, dessen Durchmesser größer als 4 mm ist (Sondendurchmesser = 2,75 mm).

Unter diesen Bedingungen bildet sich der Vereisungskörper demnach nach einer Vereisungszeit, die in diesem Falle zwischen 60 und 120 sec. liegen muß. Bei noch längeren Zeiten wird der Durchmesser noch etwas anwachsen, doch dürfte er bald seine, den Bedingungen entsprechende, Gleichgewichtsgröße erreicht haben.

Die Untersuchungen über die Abhängigkeit der Durchmessergröße des Vereisungskörpers von der Temperatur bei konstanten Zeiten ergaben, daß die Eisbildung des Hirngewebes - unabhängig von der Zeit - unter normalen Durchblutungsbedingungen erst bei Solltemperaturen unter -15 Grad Cels., wahrscheinlich bei -17 bis -19 Grad Cels., zustande kommt. Die tatsächlich nötigen Temperaturen zur Eisbildung des Gehirngewebes bei

Normaldurchblutung, also die Sondenaußentemperaturen, dürften dann um -10 bis -12 Grad Cels. liegen, wenn man die Annahme zugrunde legt, daß die Sondenaußentemperatur knapp $2/3$ der Sondeninnentemperatur beträgt. War das Gehirn jedoch größtenteils oder total von der Blutversorgung abgeschnitten, so genügten Solltemperaturen zwischen -10 und -15 Grad Cels. zur Gehirnvereisung. Diesen Werten entsprächen dann Effektivwerte von -6 bis -9 Grad Cels. Bei allen Versuchen konnte bei Solltemperaturen von -10 Grad Cels. und höher keine Eiskbildung mehr festgestellt werden.

In den durch die Diagramme 2 - 4 dargestellten Versuchen wurden die Temperaturen variabel, die Zeiten konstant gehalten. Auch hier zeigen alle Meßkurven einen zur Abszisse konkaven Verlauf. Bei den für die Kurven eingesetzten Meßwerten handelt es sich nicht um Gleichgewichtsgrößen, da die konstanten Zeiten nur 60 bzw. 120 sec. betragen, der Gleichgewichtszustand sich aber erst nach etwas längerer Vereisungsdauer einstellen dürfte. Wir ersehen aus dem Kurvenverlauf auch diesmal einen mit abnehmender Temperatur zunächst rascheren Zuwachs der Durchmessergröße, welcher dann bei weiterem Senken der Temperatur deutlich abnimmt.

Aus der Betrachtung sämtlicher Diagramme geht hervor, daß es sich ausnahmslos um konkav zur Abszisse geneigte Kurven handelt. Die Ursache dieser Erscheinung dürfte nicht allein in einer besonders bei tiefen Temperaturen auftretenden Wärmeleitung zwischen Sondenspitze und Sondenaußenmantel zu suchen sein, sondern auch in der Natur des Vorganges selbst: Beim Anwachsen des Durchmessers der Kugel vergrößert sich deren Oberfläche im Quadrat. Damit ist für eine Versuchsreihe mit stetig abnehmenden Temperaturwerten zwangsläufig eine immer stärkere Abnahme des Durchmesserzuwachses verbunden. Auf diese Weise läßt sich auch das rasche Anwachsen des Durch-

5
D[mm]

$t = 120 \text{ sec} = \text{const.}$

12
11
10
9
8
7
6
5
4
3
2
1

-15° -10° -5° 0° 5° 10° 15° 20° 25° 30° 35° 40° 45° 50° 55° 60° 65° 70° 75° 80° 85° 90°

Gr.
Rel. sing.

messers erklären, was in den Diagrammen durch die anfängliche Steilheit der Kurven zum Ausdruck kommt. Dies geht auch aus Diagramm 5 hervor.

Darstellung 5:

Volle Durchblutung, $t=120$ sec. temperaturabhängig bei konstanter Zeit.

T(Gr.C): -15 -20 -30 -40 -50 -60 -70 -80 -90 -100 -110 -140

D(mm): - 4,2 5,6 6,3 6,7 7,1 7,7 8,5 8,8 9,6 10,4 11,5

Der Abkühlung und Vereisung des Gehirngewebes durch die COOPER-Sonde wirkt der Wärmewiderstand des lebenden Gehirngewebes entgegen. Die Größe dieses Wärmewiderstandes richtet sich nach der antransportierten Wärmemenge. Ein Teil dieser Wärme wird durch Wärmeleitung auf Grund der Wärmeleitfähigkeit des Gewebes, ein wohl größerer Teil durch Mitnahme durch das Blut, also konvektiv, transportiert. Der Blutkreislauf muß, gleichsam wie die Umwälzpumpe einer Warmwasser-Zentralheizung, das abgekühlte Gewebe heizen. Es ist leicht einzusehen, daß durch Herabsetzung der Durchblutung eine Wärmeanlieferung stark eingeschränkt, und somit der Vereisungsprozeß wesentlich begünstigt wird. Sind sämtliche hirnversorgenden Gefäße verschlossen, so verbleibt nur mehr die Wärmeleitung durch das Gehirngewebe. Setzen wir beim Vereisungsprozeß genügend lange Vereisungszeiten voraus, so ist der Eiskörper hinsichtlich seiner Durchmessergröße das Ergebnis eines Gleichgewichtszustandes, der von der angelieferten "Kälteenergie" durch die Sonde und der Gegenheizung des Gewebes bestimmt wird. Die Lage dieses Gleichgewichtes kann nach der einen oder anderen Seite, d.h. zugunsten des Vereisungsprozesses oder des Wärmewiderstandes, verschoben werden durch Variieren der Temperatur am COOPER-Gerät oder durch Änderung der Durchblutungsverhältnisse. Das Ergebnis wird dann ein größerer

oder geringerer Durchmesser der Vereisungskugel sein. Dabei wird die Oberflächenschicht der Eiskugel die Gefrier-temperatur des Gehirngewebes annehmen.

4) Zusammenfassung

An 65 lebenden Kaninchenhirnen wurden über 200 Kälteversuche mit dem COOPERSchen Gerät durchgeführt. Die Untersuchungen sollten Aufschluß geben über den Einfluß der Durchblutungsverhältnisse auf den Abkühlungseffekt sowie auf Form und Größe der Vereisungskörper in Abhängigkeit von Zeit und Temperatur.

Die Eiskörper hatten meist Kugelform. Bei Abweichungen von der Kugelform waren die häufigsten Varianten die ellipsoide und die abgeplattete Form. Abweichungen von der Kugelform waren bei den Versuchen mit Normaldurchblutung öfters als bei denen mit Mangel durchblutung feststellbar. In allen Versuchen war die zentrale Rolle der Durchblutung hinsichtlich der Intensität des Vereisungsgeschehens offensichtlich. Bedingt durch die Gegenheizung des Blutes wurde der Vereisungsprozeß eindeutig zurückgedrängt, der Eiskugeldurchmesser war stets kleiner bei normalen Durchblutungsverhältnissen und größer bei Mangel durchblutung oder vollständigem Blutabschluß des Gehirns. Sämtliche Kurven zeigten einen zur Abszisse konkav geneigten Verlauf. Der Gleichgewichtszustand, bedingt durch die von der Sonde gelieferte "Kälteenergie" und der Gegenheizung des Gewebes, wurde - verglichen mit den in vitro Versuchen - erst nach längeren Vereisungszeiten erreicht. Zur Schaffung einer insuffizienten Blutversorgung

erwies es sich von Bedeutung, daß die Gefäßligaturen kurz vor den Versuchen gesetzt wurden, da sich nach Stunden bzw. Tagen recht gut funktionierende Kollateralkreisläufe ein spielten. Die Versuchsergebnisse bestätigten die meisten theoretisch geforderten Erwartungen.

An dieser Stelle sei es mir gestattet, Herrn Prof. Dr. J. Gerlach für die vielfältigen Anregungen und seine freundliche Unterstützung zu danken.

D. LITERATUR

Gerlach, Meinhardt, Peschel, Spuler, Stucke:

Grundlagen der operativen Anwendung tiefer Temperaturen
in der klinischen Medizin (I. Mitteilung)

Z.ges.exp.Med. 140, 230 - 247 (1966)

Gerlach, Peschel, Schubert, Spuler, Stucke:

Grundlagen der operativen Anwendung tiefer Temperaturen
in der klinischen Medizin (2. Mitteilung)

Z.ges. exp. Med. 140, 248 - 255 (1966)

Hafferl, A., in Bolk-Göppert-Kallius-Lubosch:

Vergleichende Anatomie, Band 6, S. 601

Urban und Schwarzenberg, Berlin-Wien (1933)

Krause, W. :

Anatomie des Kaninchens.

W. Engelmann-Verlag, Leipzig (1884)

Kunert, zitiert nach Wenker

Lullies, H.:

Vegetative Physiologie.

Tropon (1963)

Wenker, H. :

Tierexperimentelle Untersuchungen über klinische,
hirnelektrische und angiographische Veränderungen
nach Ligatur großer Halsgefäße

Vortrag auf dem Neurochirurgenkongreß in Bad Dürkheim,
5 - 7.5.1966

LEBENS LAUF

Ich, Dieter Segmiller, wurde am 27. Oktober 1939 als erstes Kind meiner Eltern, des praktischen Arztes Dr. Walter Segmiller und seiner Ehefrau Magda, geb. Heckelmann, in München geboren.

Die Volksschule besuchte ich von 1946 - 1951 in München und Kinsau/Lech, die höhere Schule in Landsberg/Lech (Oberrealschule). Nach Ablegung der Reifeprüfung 1961 nahm ich im Wintersemester 1961/62 das Studium der Medizin an der Universität Mainz auf. Dort legte ich im Oktober 1962 die naturwissenschaftliche Vorprüfung, im Juli 1964 die ärztliche Vorprüfung ab. Im ersten klinischen Semester (Wintersemester 1964/65) studierte ich an der Universität Innsbruck. Im Sommersemester 1965 bezog ich dann die Universität Würzburg, an welcher ich seit dieser Zeit neben dem Medizinstudium auch noch das Studium der Psychologie im Rahmen eines Doppelstudiums betreibe. Im Dezember 1967 habe ich mein Medizinisches Staatsexamen abgelegt.

Ich versichere ehrenwörtlich, daß ich die vorliegende Arbeit selbständig verfaßt und außer der angegebenen Literatur keine weiteren Hilfsquellen benutzt habe.

Ich versichere ehrenwörtlich, daß ich bisher von keiner anderen Seite ein Dissertationsthema zur endgültigen Bearbeitung erhalten habe.

D. Segmiller

BÖHLER-DRUCK

87 WÜRZBURG, Wirsbergstr. 10

Tel. 54143